

КВАНТОВЫЙ РАЗМЕРНЫЙ ЭФФЕКТ И КРИТИЧЕСКАЯ ТЕМПЕРАТУРА ТОНКИХ ПЛЁНОК АЛЮМИНИЯ

Седов Е.А.^{1*}, Голоколенов И.А.^{1,2}, Завьялов В.В.², Арутюнов К.Ю.^{1,2}

¹⁾ Национальный исследовательский институт Высшая школа экономики,
Москва, Россия

²⁾ Институт физических проблем им. П.Л. Капицы РАН, г. Москва, Россия

*E-mail: esedov@hse.ru

QUANTUMS SIZE EFFECT AND CRITICAL TEMPERATURE OF THIN ALUMINUM FILMS

Sedov E. A.^{1*}, Golokolenov I.A.^{1,2}, Zavialov V.V.² and Arutyunov K.Yu.^{1,2}

¹⁾ National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

²⁾ P. L. Kapitza Institute for Physical Problems RAS, Moscow, Russia

New effects appear in superconductors with the reduction of their size, for example, changing of critical temperature T_c . Despite the number of existing works, there is still no generally accepted conception about the nature of this effect. It is clear, this is mechanism influenced by many factors, one of them is quantum size effect. We present the result of the investigation of aluminum films and demonstrate the presence of quantum-confinement process that was not considered earlier.

Ещё в 60-х годах прошлого века было показано, что, уменьшая размеры сверхпроводящей структуры, например, толщины тонкой плёнки, её критическая температура изменяется. В свинце, ниобии, ртути она уменьшается, в то время как в алюминии, индии и олове она увеличивается [1]. Тем не менее, общепризнанной теории, объясняющей данное явление до сих пор нет. В 70-х годах, во время пика исследований по данной тематике, В. Л. Гинзбург предположил, что температура перехода достаточно чистой, монокристаллической плёнки сверхпроводника будет точно такой же, как и в объёмном теле [2]. Однако, данное предположение так и не было проверено, и вопрос о природе этого эффекта всё ещё остаётся открытым.

Для исследования был выбран алюминий, в связи с тем, что зависимость T_c пленки от ее толщины весьма предсказуема, и увеличивается с уменьшением размеров. Несмотря на некоторое количество работ по изучению этой зависимости в алюминии, не всегда удаётся точно установить соответствие с теорией. Это связано с тем, что характеристики варьируются от образца к образцу, изготовленных даже в одной партии. В нашем случае, были изготовлены поликристаллические плёнки, размеры кристаллитов в которых сопоставимы с толщиной плёнки. Плёнки были изготовлены методом электронно-лучевого напыления на монокристаллическую пластинку арсенида.

В рамках модели БКШ критическая температура сверхпроводящего перехода экспоненциально зависит от плотности электронных состояний на уровне Ферми $N(E_F)$ и константы электрон-фононного взаимодействия V :

$$T_c \sim \exp\left\{-\frac{1}{N(E_F)V}\right\}$$

В работе [3] показано, что за счет КРЭ в тонких сверхпроводящих пленках оба параметра $N(E_F)$ и V немонотонным образом меняются с толщиной образца.

Такое поведение является следствием теории резонанса формы [3]. Предположительно, эффект, оказываемый разупорядоченностью кристаллитов, а также поверхностью или подложкой, не имеет доминирующей роли конкретно в нашем случае, так как плёнки алюминия имеют высокое качество, а их толщины выходят далеко за пределы сверхтонких объектов, в которых поверхностные явления начинают играть решающую роль.

В результате проделанного исследования была получена экспериментальная и теоретическая зависимость T_c от толщины плёнок. Полученные данные соотносятся с предыдущими исследованиями [4], тем не менее это не является конечной целью нашего эксперимента. Следующим шагом запланировано изучение эпитаксиальных алюминиевых плёнок, в которых наблюдение размерной зависимости T_c будет свидетельствовать в пользу наблюдения истинного КРЭ.

Авторы выражают благодарность совместному Российско-Греческому проекту RFMEFI61717X0001 и No. T4ΔPΩ-00031.

1. A. M. Toxen. Phys. Rev. – 1961 – 123 – 2.
2. V. L. Ginzburg. Journ. Experimental Theoret. Phys. (U.S.S.R.) – 1964 – 47 – 2318-2320.
3. A. A. Shanenko, M. D. Croitoru, F. M. Peeters. Phys. Rev. B – 2008 – 8 – 054505.
4. Arutyunov K. Yu. Et al. Phys. Status Solidi RPL – 2018 – 1800317.